

Satélites para vigilancia de los Océanos

MANUEL BAUTISTA ARANDA,
*General de Brigada,
Ingeniero Aeronáutico*

LOS satélites de reconocimiento fotográfico son los más adecuados para obtener información de objetivos fijos, cuya situación es conocida. Por ejemplo, son los que permiten obtener la información más detallada sobre una determinada base naval. Pero la vigilancia de los océanos plantea problemas especiales. Los buques a detectar son objetivos relativamente pequeños, perdidos en la inmensidad de los océanos, y, sobre todo, son objetivos móviles, cuya velocidad y rumbo puede variar en cualquier momento. Por ello, los satélites destinados a este fin deben reunir unas características especiales.

Para los altos mandos militares, la meta ideal sería disponer de un sistema de observación y vigilancia que les permitiese conocer en todo momento la situación, rumbo y velocidad de cada uno de los barcos del enemigo (declarado o en potencia), cualquiera que sea el punto del Globo en que se encuentren, y tanto si son barcos que navegan en superficie, como submarinos en inmersión. Una herramienta que está ayudando eficazmente a aproximarse a esa meta es el empleo de satélites especialmente concebidos y equipados para la vigilancia de los océanos.

Los satélites no son el único medio disponible. Lo normal es que cualquier sistema que se organice para la vigilancia de los océanos utilice la combinación más eficaz de todos los medios disponibles, sean satélites, aviones, sonoboyas, o cualquier otro. En las líneas que siguen nos vamos a referir exclusivamente a los satélites, examinando sus posibilidades y limitaciones para la vigilancia de los océanos.

SATELITES FOTOGRAFICOS

Los satélites fotográficos pueden aportar algunas informaciones útiles, pero tienen tantas limitaciones para esta misión, que un sistema de vigilancia de los océanos no puede basarse en ellos.

Dado el carácter móvil de los objetivos, la información obtenida sobre ellos sólo es útil si se recibe en directo, o, como se suele decir, en tiempo real. Esta información pierde rápidamente valor a medida que transcurre el tiempo, aunque sólo se trate de unas cuantas horas.

Así únicamente serán adecuados los satélites fotográficos que realizan la transmisión de imágenes en directo utilizando medios radioeléctricos, como por ejemplo, los satélites norteamericanos del tipo "KH-11". Pero al operar normalmente en las bandas visible e infrarroja del espectro, tienen siempre la grave limitación de que necesitan una atmósfera limpia y transparente para poder obtener imágenes útiles. Hay áreas de alto interés militar, como por ejemplo la del Atlántico Norte, que en ciertas épocas del año pueden permanecer muchos días seguidos con cielos cubiertos y durante todo ese tiempo los satélites fotográficos no pueden obtener ninguna información sobre los barcos que naveguen por ellas.

Además, si las cámaras del satélite cubren sólo las bandas visible e infrarroja próxima (de 0,4 a 1,0 micrómetros), tiene también la limitación de que sólo pueden obtener imágenes si el objetivo está iluminado, es decir, durante las horas diurnas, pero no durante las nocturnas. En cambio, si puede operar en el infrarrojo térmico (de 3 a 5 y de 9 a 14 micrómetros), es decir, si es capaz de recibir, no la energía reflejada por el objetivo dentro de

la banda de los infrarrojos, sino la que emite ese mismo objetivo como consecuencia de su temperatura y de la diferencia que existe con la temperatura del medio circundante, entonces el satélite puede seguir captando información útil tanto de día como de noche. Permite señalar la presencia de barcos por su diferente temperatura con respecto a la de las aguas en que navegan. Y también permite, en ciertas condiciones, detectar la presencia de submarinos en inmersión, debido a que el agua utilizada en la refrigeración de sus motores sale más caliente, sube a superficie y deja una estela térmica, una estela de agua a mayor temperatura que el resto. Pero las imágenes obtenidas en el infrarrojo térmico tienen una resolución muy inferior a las que se obtienen dentro del espectro visible. Con ellas puede detectarse la presencia de barcos, pero no distinguir detalles de los mismos.

ESCUCHA RADIOELECTRICA

Los satélites de este tipo, también denominados EORSAT (Electronic Intelligence Ocean Reconnaissance Satellite), se limitan a recibir las múltiples señales radioeléctricas que emite cualquier buque de guerra por sus radares, equipos de comunicaciones con otros buques, con aviones, con sus bases en tierra, etc.

La simple recepción de una señal radioeléctrica de frecuencia superior a unos 30 MHz ya puede revelar la presencia de un buque dentro del horizonte visible desde el satélite. Pero esta información es demasiado pobre, porque la extensión de océano que queda dentro del horizonte visible desde un satélite es normalmente superior al millón de kilómetros cuadrados.

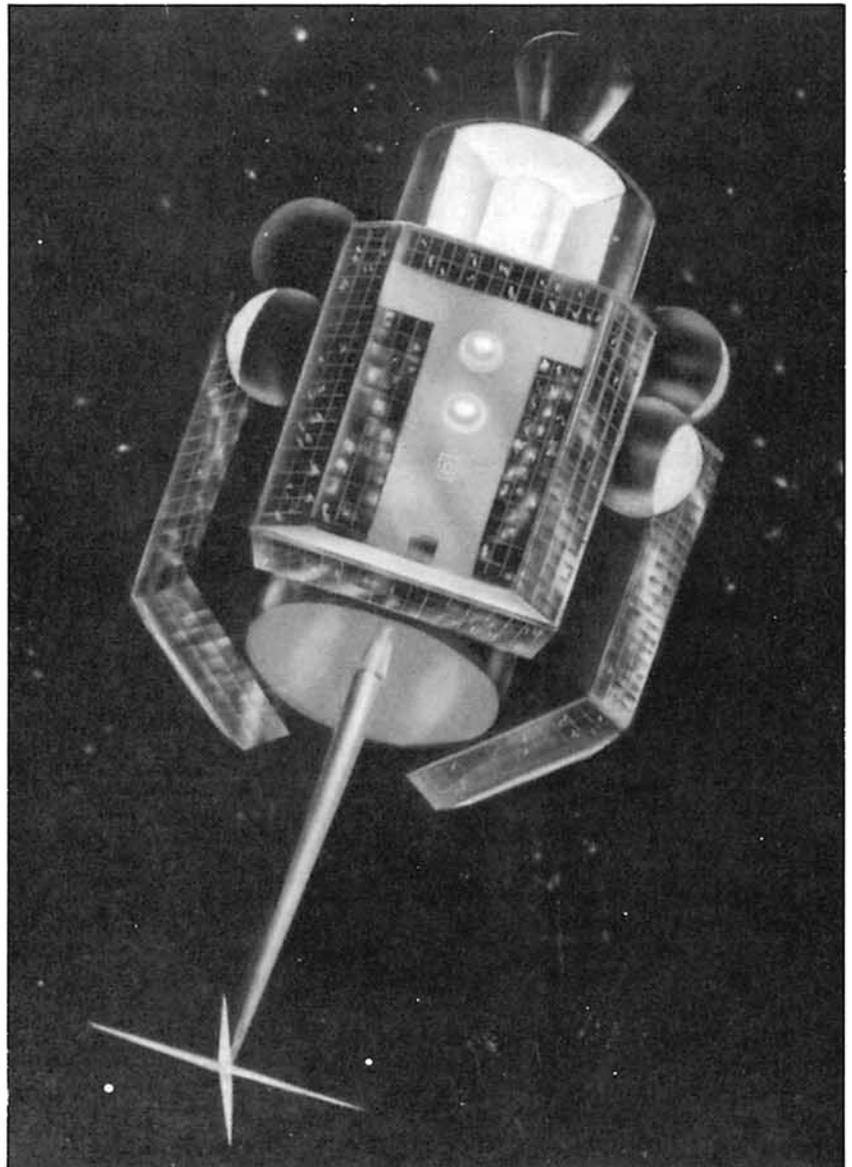
Utilizando a bordo antenas directivas se puede determinar la dirección de llegada de las ondas y con ello la dirección en que se encuentra el buque con respecto al satélite en ese momento.

Durante la última guerra mundial llegó a ser muy corriente la utilización en tierra de estaciones receptoras provistas de antenas directivas (radiogoniómetros) para conocer la dirección de llegada de las señales transmitidas por los barcos enemigos en alta mar. Con ayuda de dos o más estaciones receptoras situadas en puntos geográficamente separados, se podía, por triangulación, obtener rápidamente la posición del buque emisor.

En el caso de los satélites, pueden emplearse varios procedimientos para determinar la posición del buque, utilizando únicamente las señales transmitidas por el mismo y recibidas en el satélite.

Uno de ellos es aprovechar el rápido movimiento del satélite a lo largo de su órbita (unos 7,5 kilómetros por segundo) e ir obteniendo la dirección de llegada de las ondas para distintas posiciones de este satélite. Esto equivale a lo que antes decíamos de recibir las señales en dos o más estaciones en tierra geográficamente separadas. Por triangulación se fija la posición del buque. El procedimiento es válido porque las medidas pueden completarse en pocos segundos y el desplazamiento del buque en este tiempo es despreciable. Los cálculos se hacen, por supuesto, de forma automática.

Otro procedimiento es hacer uso del llamado Efecto Doppler. Cuando el satélite aparece por el horizonte del buque y se va acercando a él, la frecuencia de las señales que capta el satélite es superior a la frecuencia con que realmente son emitidas por el buque. Cuando la distancia entre ambos es mínima, la frecuencia recibida coincide con la transmitida. Y cuando se aleja, la frecuencia recibida es menor. En este mismo principio de la medida del Efecto Doppler se basan los satélites de navegación tipo "TRANSIT". La diferencia estriba en que el transmisor, que sirve de base para la medida del desplazamiento Doppler de la frecuencia, está en el satélite en este caso y en el barco en el caso anterior. Los cálculos a realizar para obtener la posición del buque



Satélite del Programa "White Cloud".

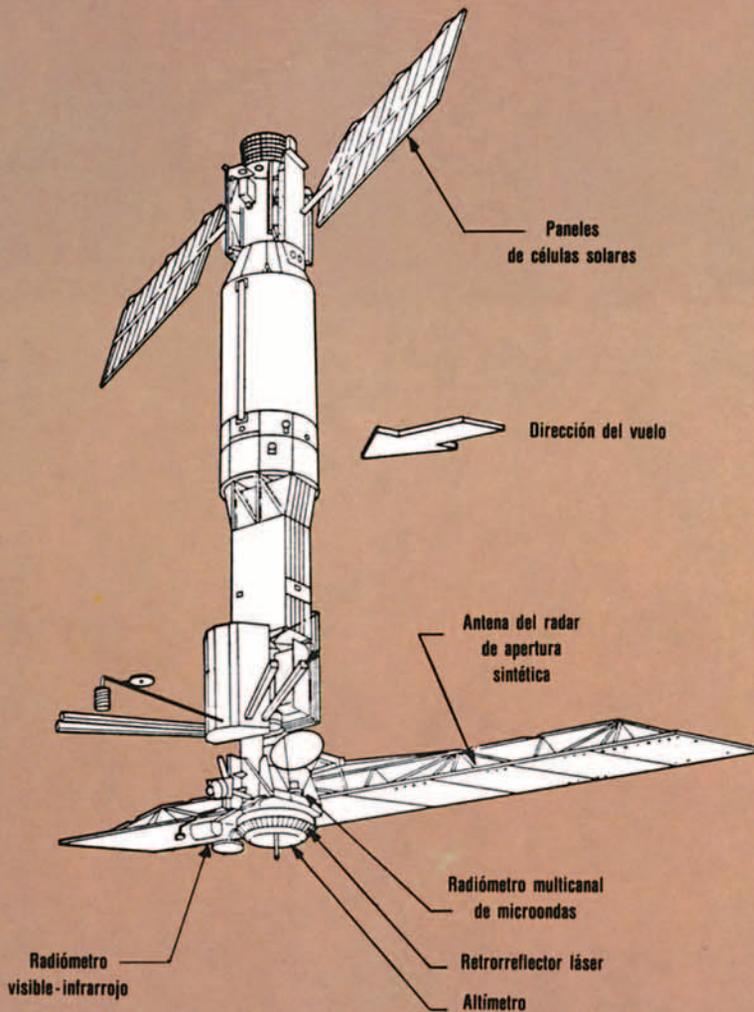
a partir de estas medidas son complejos, pero en la práctica, con el uso de ordenadores a bordo o en tierra, no ofrecen dificultad.

Un tercer procedimiento es utilizar métodos interferométricos. En este caso se emplean tres o más satélites volando en formación, es decir, manteniendo entre sí unas determinadas posiciones bien conocidas y controladas. Las señales emitidas por un buque se reciben simultáneamente en todos los satélites de la formación; pero como la distancia del buque a cada satélite es distinta, también es distinta la fase de las señales que recibe cada uno. Tomando los

satélites de dos en dos y comparando las fases de las señales que reciben, es posible determinar con bastante precisión la posición del buque emisor. Aunque la idea así expuesta parece sencilla, su realización práctica presenta numerosas dificultades. Los satélites norteamericanos del tipo "White Cloud" utilizan este procedimiento.

En los tres procedimientos antes citados se ha dado por supuesto que se conoce con gran precisión la posición del satélite receptor en todo momento. En la práctica así ocurre y esta exigencia, que es imprescindible, no suele crear problemas.

CONFIGURACION EN ORBITA DEL SEASAT-A



Con un radar de adecuadas características puede detectarse la presencia del buque, conocer su posición de forma muy precisa y, además, determinar su rumbo, su velocidad y el tipo de buque de que se trata. Los satélites equipados con radar se denominan también RORSAT (Radar Ocean Reconnaissance Satellite).

La pregunta que surge inmediatamente es: Si con un radar a bordo puede obtenerse una información más completa que con otros medios, ¿por qué usar estos otros medios? La contestación viene por sí sola cuando se profundiza un poco en el tipo de radar que se necesita y en los problemas que plantea su instalación en un satélite.

La utilidad de la información obtenida con un radar depende básicamente de la resolución que pueda lograrse con él. Si la resolución es baja, por ejemplo inferior a 100 metros, la imagen de un buque será poco más que un simple punto y apenas dará información sobre sus características. Cuanto mayor sea la resolución, más detalles se apreciarán y más valiosa será la información obtenida. (Cuadro 1).

Los primeros estudios realizados en los Estados Unidos a principios de la década de los 60 sobre la instalación de equipos radar a bordo de satélites fueron poco estimulantes. Resultaban satélites desproporcionadamente pesados y costosos para la información que podían facilitar.

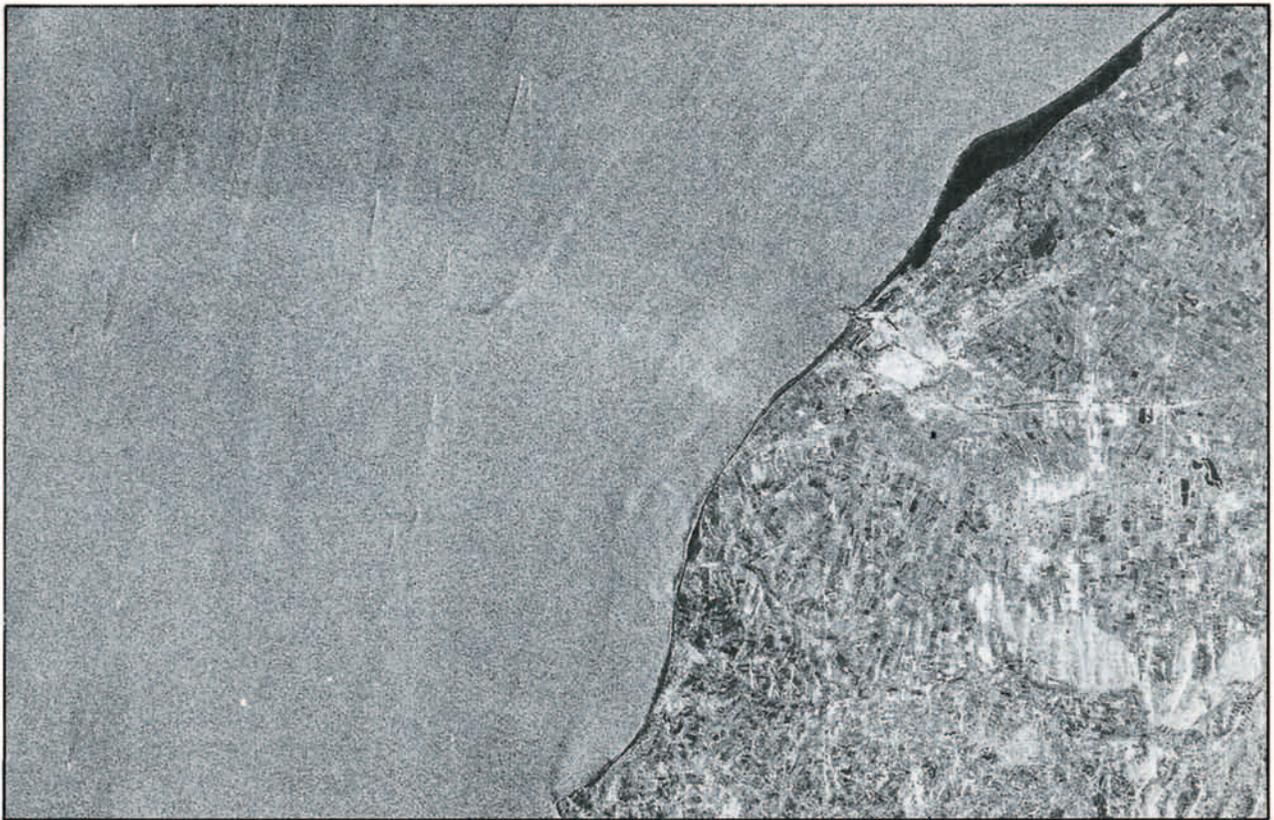
La recepción y análisis de las señales transmitidas por un buque, además de permitir fijar su posición, permite obtener en muchos casos información sobre el tipo de buque de que se trata, pues los equipos emisores no son los mismos en un portaaviones, que en una fragata, o en un buque auxiliar de aprovisionamiento.

UTILIZACION DE RADARES

La información que se consigue con los métodos basados en la simple recepción de las señales radioeléctricas emitidas por un buque es sin duda valiosa; pero es manifiestamente menos completa que la que puede obtenerse con un radar montado a bordo de un satélite.



Imagen de Barcelona, su puerto y sus alrededores, tomada por el radar de apertura sintética del satélite oceanográfico SEASAT.



Canal de la Mancha y puerto de Calais. Imagen tomada por el SEASAT, con una resolución de unos 25 m. Se aprecian los barcos que cruzan el canal y la estela que dejan.

Debido al secreto militar que envuelve estos temas, no se dispone de datos fidedignos sobre la máxima resolución que se está consiguiendo actualmente. Con el satélite oceanográfico norteamericano SEA-

SAT, puesto en órbita por la NASA en 1978 y equipado con radar de apertura sintética, se consiguieron resoluciones del orden de 25 m. desde una altura relativamente alta, 800 Km. Y en cierto modo sor-

prendió la gran cantidad de información que contenían las imágenes obtenidas. En un reciente informe presentado en la UEO (Unión Europea Occidental), documento 1160, de fecha 7 de noviembre de

Cuadro núm. 1

CONSIDERACIONES SOBRE LA RESOLUCION DEL RADAR

LA máxima resolución que puede obtenerse con un radar instalado a bordo de un satélite está limitada fundamentalmente por tres factores: altura de la órbita, tipo de antena y potencia del transmisor. Analicemos brevemente cada uno de ellos.

La altura del satélite interesa que sea la menor posible, pero la presencia de la atmósfera impone limitaciones. Si se quiere que el satélite pueda permanecer algunos meses en órbita, hay que situarlo a una altura no inferior a unos 250 ó 300 Km. En caso contrario, el continuo frenado producido en las altas capas de la atmósfera le irá absorbiendo energía y el satélite irá perdiendo altura poco a poco, hasta que penetre en las capas más densas y acabe desintegrándose. Algunos fragmentos llegarán a la superficie terrestre y el resto se volatilizará en la atmósfera.

En cuanto a la antena, hay que tener presente que su misión fundamental es conseguir que la energía del transmisor del radar se radie concentrada en un fino pincel, que barre y explora el área a vigilar. Cuanto más fino sea este pincel, mayor es la resolución que puede conseguirse, pero paralelamente la antena necesaria tiene que ser cada vez de mayores dimensiones. Y justamente el máximo tamaño y peso de la antena que puede instalarse a bordo de un satélite es lo que limita la finura del pincel citado.

El problema empezó a tener solución práctica con la aparición de los llamados radares de "apertura sintética". En ellos se aprovecha el Efecto Doppler producido por el rápido desplazamiento del satélite a lo largo de su órbita (unos 27.000 Km./h.), para conseguir una resolución en la dirección del movimiento del satélite equivalente a la que se obtendría con una antena de dimensiones iguales a la distancia recorrida por el satélite durante cada barrido, es decir, que equivale a utilizar una antena de dimensiones muy superiores a las que físicamente tiene la instalada en el satélite.

La potencia del transmisor, que influye no sólo en la resolución, sino también en el alcance máximo del radar, debe ser superior a 1 kilovatio y, a ser posible, bastante superior. Ello significa un gran consumo de energía eléctrica, de varios kilovatios, muy difícil de conseguir en un satélite con los métodos habituales a base de células solares. Habría que recurrir a paneles de células solares de enormes dimensiones, con los problemas de peso y volumen que ello supone, aunque en la fase de lanzamiento estos paneles vayan plegados para reducir su volumen.

Una solución, que como veremos más adelante ha sido adoptada por la Unión Soviética, a pesar de los riesgos que conlleva, es la de recurrir a reactores nucleares como fuentes generadoras de energía eléctrica. Con ellos es perfectamente posible generar potencias útiles del orden de los 10 KW. El riesgo que se corre es la posibilidad de que el reactor caiga a tierra, bien por un fallo del cohete lanzador durante la fase de puesta en órbita, o bien por una reentrada fuera de control, si fallan los sistemas de seguridad instalados a bordo. En cualquiera de estos casos podría causar una grave contaminación con productos radioactivos en la zona de caída. ■

RENDIMIENTO QUE PUEDE DAR UN SOLO SATELITE

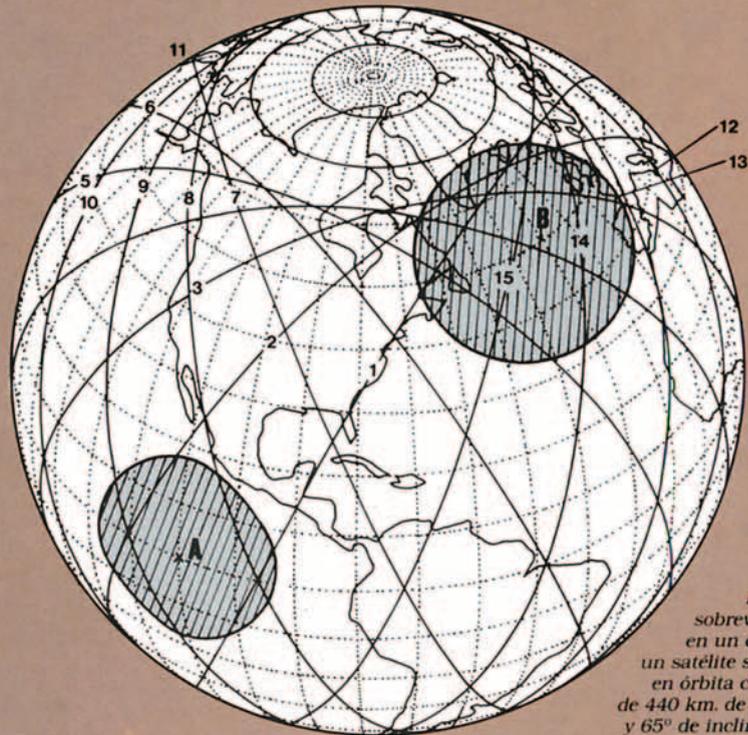
VAMOS a ver brevemente qué puede conseguirse con un solo satélite. Para poder dar algunas cifras, vamos a considerar el caso concreto de uno situado en órbita circular, a 440 Km. de altura y 65° de inclinación, que es justamente la órbita que utilizan los satélites soviéticos del tipo EORSAT.

Para que un satélite pueda recibir las señales de los radares de un buque y de la mayor parte de sus equipos transmisores, es necesario que haya "visión" directa satélite-buque, es decir, que el satélite tiene que estar por encima del horizonte visible desde el buque.

En el ejemplo que estamos considerando, el satélite da 15 vueltas diarias a la Tierra, pero, si el buque está en el Ecuador o próximo a él (posición A) que es la situación más desfavorable, el satélite sólo pasará sobre su horizonte una o dos veces consecutivas en órbitas ascendentes (de S. a N.) y, 12 horas después, otra vez una o dos veces en órbitas descendentes (de N. a S.). Y en total, de las 24 horas del día, sólo habrá podido recibir las señales del buque en 4 órbitas como máximo, con un tiempo total inferior a 30 minutos.

A medida que el buque se encuentre en latitudes mayores, sean Sur o Norte, las posibilidades del satélite van mejorando. Así por ejemplo, si se encuentra a 60° N (posición B), el satélite pasará unas 7 u 8 veces diarias por encima de su horizonte, con una duración media de unos 8 minutos en cada paso. En la figura se han representado los puntos que sobrevuela diariamente el satélite que estamos considerando, las posiciones A y B de los dos buques y los círculos que abarcan las áreas de visión directa satélite-buque.

En cualquier caso, vemos que con un solo satélite situado en una órbita como la del ejemplo (440 Km. de altura y 65° de inclinación) es posible situar un buque entre 2 y 8 veces al día, según la latitud en que se encuentre. Si la altura del satélite es mayor, esta capacidad mejora y, recíprocamente, si es menor, empeora. ■



Puntos sobrevolados en un día por un satélite situado en órbita circular de 440 km. de altura, y 65° de inclinación.

1988, se supone que actualmente los satélites con radares de apertura sintética pueden alcanzar resoluciones de 2,5 m. en la dirección paralela al movimiento del satélite y de 1,5 m. en la dirección perpendicular a este movimiento. Y que es previsible que esta resolución llegue a ser de 1 m. hacia el año 2000.

Como conclusión, diremos que en el empleo de radares para la vigilancia de los océanos, si bien la calidad de las imágenes obtenidas es sensiblemente inferior a la que puede conseguirse con cámaras fotográficas, tienen la gran ventaja de que la observación puede hacerse exactamente igual de día que de noche, y lo mismo con tiempo despejado, que con cielos cubiertos de nubes. Además, parece que en las imágenes radar es posible en ciertos casos detectar submarinos en inmersión, por las ondas que produce el casco del barco al

desplazarse, que afloran a la superficie y crean una estela capaz de ser detectada por el radar, si la superficie del mar está tranquila.

ASPECTOS OPERATIVOS

Teniendo en cuenta que los buques son objetivos esencialmente móviles, dos características funda-

mentales en cualquier sistema operativo para la vigilancia de los océanos son la frecuencia con que cada buque puede ser localizado y el tiempo que transcurre desde que el satélite capta la información hasta que ésta llega a sus usuarios.

El ideal, como indicábamos al principio, es que cada buque pue-

TIEMPOS MUERTOS EN LA TRANSMISION DE DATOS

Si el satélite puede "ver" simultáneamente al buque objetivo y a una estación receptora propia, no hay ningún problema para que vaya transmitiendo la información a tierra conforme la va captando. Esta situación puede darse cuando el buque objetivo no está muy lejos de las costas propias, por ejemplo, menos de 2.000 Km., aunque esta cifra depende mucho de la altura del satélite.

Si el satélite no puede estar en contacto con ninguna estación receptora propia cuando capta la información, existe la posibilidad de que esta información se transmita a tierra con ayuda de un satélite repetidor situado en una órbita más alta. Es casi seguro que tanto los Estados Unidos como la Unión Soviética utilizan este procedimiento, pero dado el secreto militar, no se dispone de datos suficientes como para afirmarlo categóricamente.

Y, por último, si por la razón que sea ninguno de estos dos procedimientos es aplicable, cabe el recurso de almacenar a bordo, la información recogida, grabada en cinta magnética, y transmitirla más tarde a tierra, cuando sobrevuela una estación propia. El retraso que esto supone depende de cuántas estaciones receptoras haya en tierra y en dónde estén situadas. Puede oscilar entre unos pocos minutos y varias horas. ■

da ser observado de forma ininterrumpida, cualquiera que sea su posición. Pero en la práctica y con los medios actuales esto no es posible. La observación ininterrumpida podría lograrse por dos procedimientos. El primero es utilizando 3 satélites en órbita geoestacionaria, espaciados entre sí 120 grados. Con este sistema únicamente quedarían sin cubrir las zonas próximas a los Polos, que a efectos de navegación marina carecen de interés. Pero la gran altura de la órbita geoestacionaria (35.800 Km.) la hace muy poco adecuada para la observación detallada de la superficie terrestre. El segundo procedimiento sería a base de montar un sistema muy numeroso de satélites en órbitas bajas, posiblemente más de 50, que, adecuadamente distribuidos en el espacio, mantuviesen una cobertura completa de toda la superficie terrestre. En el cuadro 2, se examinan las posibilidades de vigilancia de un solo satélite, que permitirían situar un buque entre 2 y 8 veces diarias. Si se tiene un sistema formado por 2, 3 ó más satélites, con sus órbitas adecuadamente espaciadas, es posible vigilar la posición de cada buque con mayor frecuencia.

La otra característica fundamental que citábamos de un sistema operativo es el tiempo que transcurre desde que un satélite capta información sobre un buque hasta que ésta llega a manos de quienes tienen autoridad para tomar decisiones al respecto. No es necesario repetir una vez más, que, dada la movilidad de los buques, este tiempo debe ser lo más corto posible. (Cuadro 3).

Una aplicación interesante de estos satélites es que el Comandante en Jefe de una Flota en alta mar, reciba directamente las transmisiones de los satélites y pueda conocer la presencia de cualquier otro buque de superficie, amigo o enemigo, que se encuentre en un radio de varios centenares de kilómetros.

Como problema sin resolver satisfactoriamente está la detección de submarinos en inmersión por medio de satélites. En ciertos casos particulares si es posible, como ya hemos señalado, detectar la estela térmica que dejan, o las ondas que crea el casco del submarino al desplazarse. Pero con carácter general, el tema no está resuelto. ■

Satélites de reconocimiento fotográfico

POR un error que lamentamos profundamente, debido a la acumulación del trabajo con vistas a adelantar la preparación de los números de los meses de verano de la Revista, error que rogamos a los lectores nos disculpen, fueron omitidas las figuras números 1 a 5, a las que se hacía referencia en los cuadros 2, 3 y 5 del artículo "Satélites de reconocimiento fotográfico", del que es autor el General Ingeniero Aeronáutico, don Manuel Bautista Aranda, y que fue publicado en el número 574, correspondiente al pasado mes de agosto.

Con objeto de subsanar ese error y completar la información correspondiente a ese artículo, insertamos nuevamente a continuación los textos correspondientes a los referidos cuadros 2, 3 y 5, esta vez con las figuras que en ellos se citan.

Cuadro núm. 2

FRECUENCIA DE PASO DE UN SATELITE SOBRE UN PUNTO DADO

Si en un momento dado un satélite pasa, por ejemplo, por la vertical de Madrid (coordenadas 40° N, 4° W), cuando este satélite vuelva a cruzar el paralelo 40° N, después de haber dado una vuelta completa a la Tierra, ya no sobrevolará la ciudad de Madrid, porque durante el tiempo transcurrido la Tierra ha girado un cierto ángulo sobre su eje. El satélite cruzará el paralelo 40° N por un punto situado más al Este. ¿Cuánto más al Este? Pues depende de la altura de su órbita. Para órbitas bajas, de unos 200 ó 300 Km. de altura, que son las habituales en los satélites de reconocimiento fotográfico, el período, es decir, el tiempo que tarda el satélite en recorrer su órbita completa, es de unos 90 minutos. Y en 90 minutos la Tierra ha girado 22,5 grados, que equivalen a unos 2.500 Km. en el Ecuador y a unos 1.900 Km. a 40° N.

En el ejemplo que hemos puesto de un satélite de órbita baja que sobrevuela Madrid, en el paso siguiente cruzaría el paralelo 40° por el extremo Este de Italia (península de Tarento). En la figura 1 se representan las zonas sobrevoladas en tres pasos consecutivos (a, b y c) de un satélite de este tipo y con una inclinación de 65° , que es bastante utilizada por los satélites de reconocimiento soviéticos.

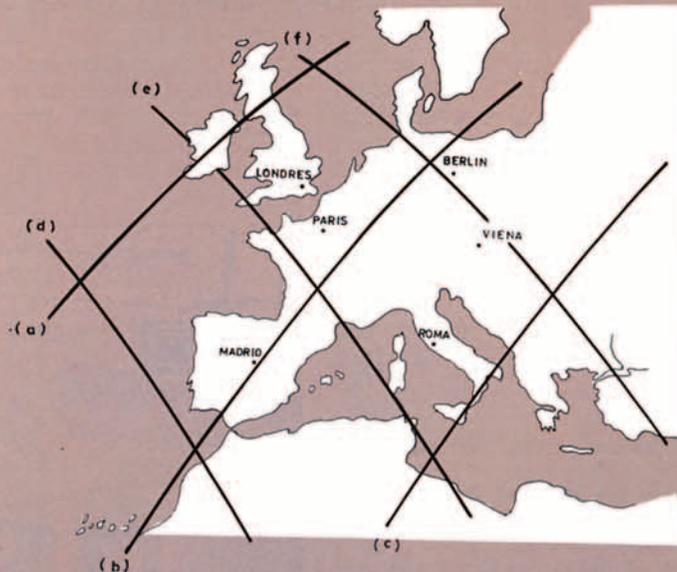


Figura 1. Zonas sobrevoladas en un período de 24 horas por un satélite a 250 km. de altura y 65° de inclinación de su órbita.

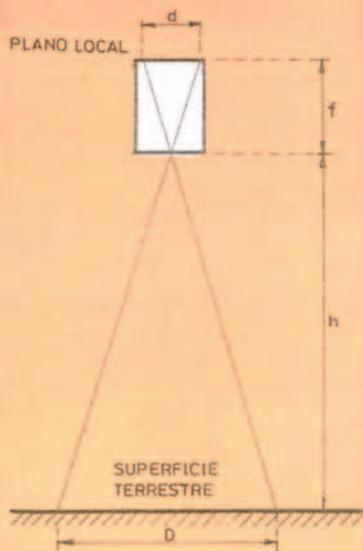
Unas 12 horas después, el satélite vuelve a sobrevolar estas regiones (pasos d, e y f), pero si antes se movía de Sur a Norte (pasos ascendentes), ahora se moverá de Norte a Sur (pasos descendentes). Y si los primeros tenían lugar durante las horas diurnas, los segundos ocurrirían durante la noche, por lo que su utilidad, a efectos de toma de fotografías, es muy inferior.

Los nuevos pasos diurnos tendrán lugar al día siguiente, unas 24 horas después de los primeros, después de que el satélite haya dado 16 vueltas a la Tierra. El satélite volverá a pasar sobre España, o sus proximidades, pero no forzosamente sobre Madrid. Y es posible que haya que esperar varios días hasta que vuelva a sobrevolar Madrid.

Cuadro núm. 3

CALCULO DE LA RESOLUCION QUE SE PUEDE OBTENER EN UNA FOTOGRAFIA POR SATELITE

SUPONIENDO que todos los factores que influyen en la definición de la fotografía se dan en grado óptimo vamos a tratar de calcular cuál es la resolución que puede obtenerse. En la figura 2 se muestra esquemáticamente la geometría de la formación de imágenes en el plano focal de una cámara fotográfica instalada en un satélite. La imagen que se forma en el plano focal es una reproducción de la que existe en la superficie de la Tierra, pero con unas dimensiones muy inferiores.



La reducción es justamente:

$$\frac{d}{D} = \frac{f}{h}$$

siendo "f" la distancia focal del sistema óptico y "h" la altura a que se encuentra el satélite en el momento de tomar la fotografía. Si llamamos "n" al máximo número de líneas por milímetro que pueden grabarse en el papel fotográfico utilizado, la resolución "R" de la imagen, es decir, la distancia mínima en tierra entre dos objetos que pueden distinguirse como puntos separados en la fotografía, viene dada por la fórmula:

$$R = \frac{h}{f \cdot n}$$

en la que "R" viene expresado en metros, "h" en kilómetros, "f" en metros y "n" en líneas por milímetro.

Del examen de esta fórmula se deduce rápidamente que para conseguir una gran resolución (R es muy pequeño) hay que tratar de que la altura del satélite "h" sea pequeña, que la distancia focal "f" sea grande y que el papel utilizado permita un gran número "n" de líneas por milímetro.

Cuadro núm. 5

OBJETOS QUE PUEDEN DETECTARSE

Si bien el concepto de resolución es bastante intuitivo, vamos a dar algunos ejemplos que lo aclaren más. Con una resolución de 3 m. se puede detectar la existencia en tierra de misiles balísticos; pero hay que llegar a resoluciones de 0,5 m. si se desea identificar el tipo exacto de misil. Análogamente, basta una resolución de unos 5 m. para descubrir la presencia de un avión en tierra; pero ha de ser muy superior para conocer los detalles de su forma, dimensiones, armamento exterior que lleva, etc.

Lo que sí está claro es que la lectura de los titulares de un periódico o la de la matrícula de un coche es algo que queda fuera de las posibilidades actuales contrariamente a lo que publicó la prensa norteamericana hace algunos años. Una resolución máxima de unos 15 cm. en forma alguna permite semejantes cosas.

La figura 3 es bastante ilustrativa. Muestra cómo se vería un avión tipo B-52 que tiene 56 m. de envergadura y 48 m. de longitud, con un sistema óptico cuya resolución fuera:

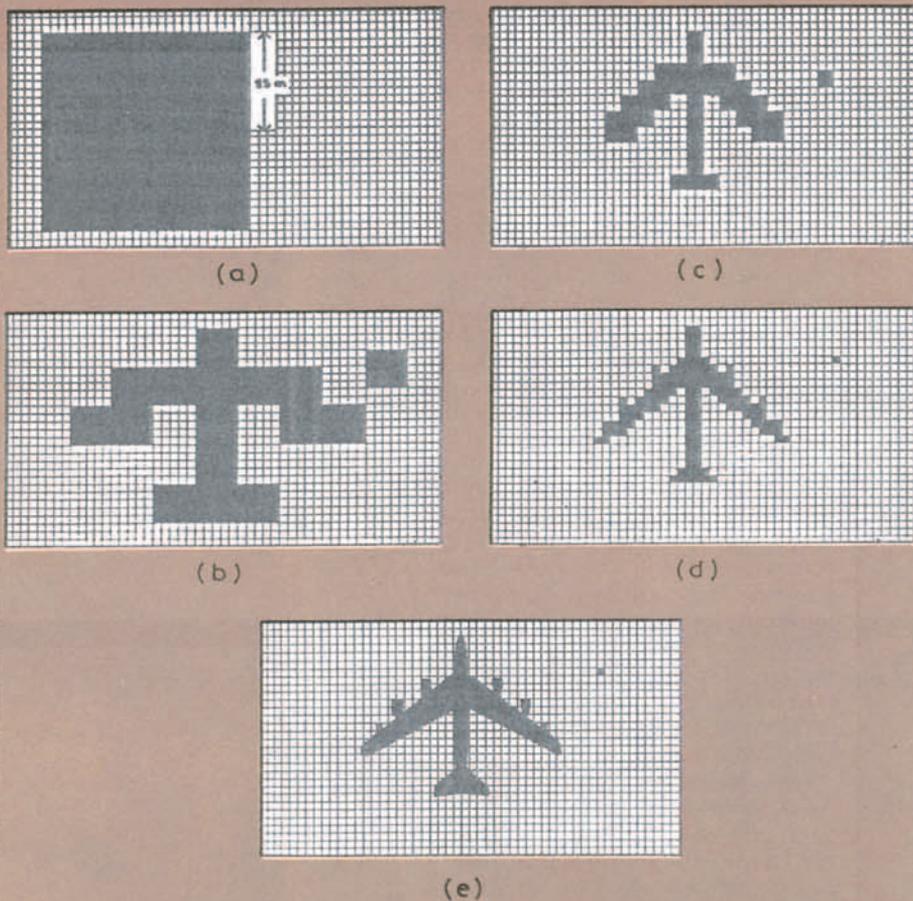


Figura 3. (a) (b) (c) (d) (e).

- 25 m — imagen a
- 10 m — imagen b
- 5 m — imagen c
- 2,5 m — imagen d
- 0,6 m — imagen e

Es interesante ver cómo se van apreciando cada vez más detalles, a medida que va aumentando la resolución.

En la figura 4 se muestra un detalle ampliado de una fotografía de una base aérea soviética con resolución equivalente a la que puede obtenerse con un satélite tipo "Big Bird". Se aprecian con toda claridad un Mig-25, un Mig-21 y hasta las personas que los atienden.



Figura 4.



La fotografía reproducida en la Figura 5 ha sido ampliamente difundida en numerosos libros y revistas. Fue tomada desde el Skylab en 1974 desde una altura de 430 Km. y con una cámara de 0,46 m. de distancia focal. La resolución es de unos 10 m. La foto muestra la Base Aérea de MacDill en Florida (Estados Unidos). Entre otros muchos detalles, pueden verse los aviones en la zona de estacionamiento.

Figura 5.